

2633
PATENT

Case Docket No. KAWAW28.001AUS

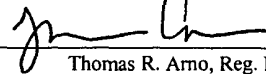
Page 1

In re application of : Tadakuma et al.
App. No. : 10/057,733
Filed : January 23, 2002
For : OPTICAL PULSE
WAVEFORM CONVERSION
Examiner : Unassigned
Art Unit : 2633

) I hereby certify that this correspondence and all marked
) attachments are being deposited with the United States
) Postal Service as first class mail in an envelope addressed
) to: United States Patent and Trademark Office, P.O. Box
) 2327, Arlington, VA 22202, on

December 4, 2002

(Date)



Thomas R. Arno, Reg. No. 40,490

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
P.O. Box 2327
Arlington, VA 22202

#6/Priority
RECEIVED Papers

DEC 12 2002

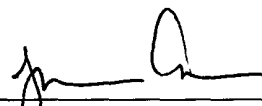
Technology Center 2600

mk
1/23/03

Sir:

Transmitted herewith in the above-identified application:

- (X) A certified copy of Japanese Application No. JP-2001-023700 filed January 31, 2001.
- (X) Return prepaid postcard.
- (X) Please charge any additional fees, including any fees for additional extension of time, or credit overpayment to Deposit Account No. 11-1410.
- (X) Please use Customer No. 20,995 for the correspondence address.


Thomas R. Arno
Registration No. 40,490
Attorney of Record
Customer No. 20,995
(619) 235-8550

S:\DOCS\TRA\TRA-7860.DOC
120402

RECEIVED
DEC 18 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

RECEIVED
DEC 18 2002
TECHNOLOGY CENTER 2600

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 1月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-023700

[ST.10/C]:

[JP 2001-023700]

出 願 人

Applicant(s):

古河電気工業株式会社

RECEIVED

DEC 12 2002

Technology Center 2600

2002年11月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2002-3087624

【書類名】 特許願

【整理番号】 A00718

【提出日】 平成13年 1月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 阿部 拓行

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 味村 裕

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 水野 一庸

【特許出願人】

 【識別番号】 000005290

 【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100093894

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 五十嵐 清

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 000480

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9108379
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学フィルタおよびその光学フィルタの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に膜を成膜しながら予め定めた基準時刻を基準とした成膜時間を時刻 t とし、前記基板上に成膜される膜にモニタ光を照射したときのエネルギー透過率とエネルギー反射率の少なくとも一方の光学特性を、該光学特性の理論式に基づいて理論定数 a_k (k は 0 以上の整数) を有する時刻 t の関数 $f(t)$ により表現し、膜の成膜中に随時、時刻 t において前記膜にモニタ光を照射して測定される前記光学特性の実測値と前記関数 $f(t)$ から求められる光学特性理論値との差が最小になるように理論定数 a_k を補正して適正定数 a_k' を求め、成膜される膜の光学膜厚が設定膜厚となる設定膜厚到達時刻を前記適正定数 a_k' に基づいて予測し、前記設定膜厚到達時刻に成膜を停止することを特徴とする光学フィルタの製造方法。

【請求項 2】 膜の成膜中に随時求められる適正定数 a_k' の変動量が予め定められた許容範囲内になってから設定膜厚到達時刻を予測し、その予測した設定膜厚到達時刻に成膜を停止することを特徴とする請求項 1 記載の光学フィルタの製造方法。

【請求項 3】 関数 $f(t)$ は光学特性測定装置に起因する補正定数項を有する関数としたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の光学フィルタの製造方法。

【請求項 4】 請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 記載の光学フィルタの製造方法を用いて製造されたことを特徴とする光学フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信等に用いられる光学フィルタおよびその光学フィルタの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

例えばフィルタに入射される光のうち、予め定められた設定波長帯の光のみを通過する波長選択透過フィルタ（バンドパスフィルタ）等の光学フィルタが光通信として広く用いられている。

【 0 0 0 3 】

この種の光学フィルタを作製する方法として、例えば基板上に真空蒸着法やスパッタリング法等によりフィルタ膜を成膜する成膜法が用いられている。

【 0 0 0 4 】

図 2 には成膜装置としての真空蒸着装置の一例が概略図により示されている。同図において、蒸着装置 3 0 内には、真空蒸着法の成膜エリア 1 内の基板ホルダ 2 上に、成膜を行なう基板 3 が設置されており、基板ホルダ 2 の下部側に蒸発源 5 a, 5 b が配置されている。なお、同図において、成膜エリア 1 内は断面図により示されている。

【 0 0 0 5 】

また、蒸着装置 3 0 には、図示されていない操作部が設けられており、この操作部の操作によって装置を駆動させると、蒸発源 5 a, 5 b から蒸発した物質が基板 3 上に付着し、膜（薄膜） 4 が成膜される構成と成している。

【 0 0 0 6 】

蒸着装置 3 0 の外部には、モニタ光を発する光源 7 と、該光源 7 から発せられる光を蒸着装置 3 0 へと導くための光ファイバ 8 と、受光器 1 2、コンピュータ 1 4 等が設けられている。

【 0 0 0 7 】

光源 7 からのモニタ光は、前記光ファイバ 8 を介し、蒸着装置 3 0 の下部側の窓 9 から入射される形態となっており、窓 9 から入射されたモニタ光は、同図の A に示すように、成膜エリア 1 内を直進して膜 4 および基板 3 に到達し、その一部が蒸着装置 3 0 の上方の光ファイバ 1 1 を通って受光器 1 2 に到達する構成と成している。

【 0 0 0 8 】

受光器 1 2 に到達した光の光量に対応した信号が信号ケーブル 1 3 を通って前記コンピュータ 1 4 に送信され、コンピュータ 1 4 の制御によって成膜される膜

厚の制御が行なわれる。

【 0 0 0 9 】

すなわち、コンピュータ 1 4 は、受光器 1 2 に到達した光に基づいて成膜中の膜 4 にモニタ光を照射したときのエネルギー透過率とエネルギー反射率のいずれか一方の光学特性の変化を測定する。そして、このモニタ光のエネルギー透過率又はエネルギー反射率の変化に基づき、成膜膜厚が目標とする膜厚に達したと判断された以降に、成膜を停止するための信号を、信号ケーブル 1 5 を通って蒸着装置 3 0 の駆動部（図示せず）に送る。

【 0 0 1 0 】

そうすると、蒸発源シャッタ 6 a または蒸発源シャッタ 6 b が対応する蒸発源 5 a, 5 b の真上をそれぞれ覆い、成膜が停止される。

【 0 0 1 1 】

また、蒸発源 5 a から第 N 層（N は正の整数）成膜用の物質を蒸発させて第 N 層の成膜を行ない、その後、続いて蒸発源 5 b から第 N 層成膜用の物質とは異なる第（N - 1）層成膜用の物質を蒸発させて第（N - 1）層の成膜を行ない、その後、蒸発源 5 a から第（N - 1）層成膜用の物質とは異なる第（N - 2）層成膜用の物質を蒸発させて第（N - 2）層の成膜を行なうといったように、上記作業を繰り返すことにより、互いに異なる膜物質の薄膜を多層積層した光学フィルタを製造することができる。

【 0 0 1 2 】

図 3 は、上記のようにして積層された多層膜の一例を示す模式図である。同図において、屈折率 n_s の基板 3 上に、合計 L 層の多層膜を積層している。基板 3 と反対側から順に、第 1 層、第 2 層、・・・第 L 層としており、第 1 層の屈折率は n_1 、第 2 層の屈折率は n_2 、第 j 層の屈折率は n_j 、第 L 層の屈折率は n_L としている。また、第 1 層の物理膜厚は d_1 、第 2 層の物理膜厚は d_2 、第 j 層の物理膜厚は d_j 、第 L 層の物理膜厚は d_L としており、光学膜厚は屈折率と物理膜厚の積であるから、例えば j 層において $n_j d_j$ となる。

【 0 0 1 3 】

ここで、光学膜厚とモニタ光のエネルギー透過率との関係について述べ、上記

コンピュータ 14 による成膜停止判断方法について述べる。図 3 に示したような全 L 層の多層膜について考えた場合、光学膜厚とモニタ光のエネルギー透過率との関係は、(数 1) に示す多層膜のエネルギー透過率により与えられる。

【0014】

【数 1】

$$T = \frac{4n_0n_s}{(n_0m_{11} + n_sm_{22})^2 + (n_0n_sm_{12} + m_{21})^2}$$

【0015】

ここで、(数 1) におけるパラメータ m_{11} 、 m_{12} 、 m_{21} 、 m_{22} は、(数 2) で与えられる全層での特性行列 M の各要素であり、各層 (第 1 層から第 L 層) の特性行列 M_j ($j = 1, 2, 3, \dots, L$) の総積によって与えられる。第 j 層の特性行列 M_j は (数 3) で与えられ、(数 3) に示す δ_j は、(数 4) により表わされるものである。なお、上記の如く、 n_j は第 j 層の屈折率、 d_j は第 j 層の物理膜厚であり、 λ はモニタ光の波長である。また、(数 2)、(数 3) において、 i は虚数である。

【0016】

【数 2】

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & im_{12} \\ im_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = M_1 M_2 \cdots M_{L-1} M_L$$

【0017】

【数 3】

$$M_j = \begin{pmatrix} \cos \delta_j & in_j^{-1} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix}$$

【0018】

【数 4】

$$\delta_j = 2\pi \times \frac{n_j d_j}{\lambda}$$

【0 0 1 9】

そこで、(数 4) に、第 j 層における光学膜厚の設計値を $n_j d_j$ に代入し、(数 1) ～ (数 4) を用いれば、第 j 層の成膜におけるモニタ光に対する最終的なエネルギー透過率の理論値が求まるので、 $j = 1 \sim L$ としてそれぞれの層についてモニタ光に対する最終的なエネルギー透過率の理論値を求めることができる。

【0 0 2 0】

周知の如く、バンドパスフィルタ等の光通信用に用いられる光学フィルタを製造するために成膜される多層膜のそれぞれの膜 4 の光学膜厚は、中心波長と呼ばれる膜厚設計用に定めた基準波長に予め定めた設定倍数を乗じた値に設計されるものであり、多くの光学フィルタにおいては、1 つの膜 4 の光学膜厚を中心波長の約 0.25 (1/4) の整数倍とすることが多い。

【0 0 2 1】

したがって、前記モニタ光として前記中心波長と等しい波長の光を用いれば、(数 4) の δ_j は $\pi/2$ の整数倍となるため、各層の成膜はエネルギー透過率変化曲線 (光学膜厚とエネルギー透過率の関係式) の極値で停止すればよいことになる。

【0 0 2 2】

図 4 は、基板 3 上に全 3 層の多層膜を成膜した場合の光学膜厚とエネルギー透過率の関係を表わしたグラフであり、 $n_1 d_1 = n_2 d_2 = n_3 d_3 = \lambda/4$ とすると、各層は曲線の極値で成膜を停止すればよいことが分かる。

【0 0 2 3】

そこで、従来は、エネルギー透過率の変化の方向 (増加又は減少) が逆になった時点でエネルギー透過率の極値と判断したり、該極値の近傍で得られた光学膜厚 (あるいはそれとほぼ比例する成膜時間) とエネルギー透過率との関係をフィ

ッティング等により二次曲線や正弦波曲線等の単純な式に当てはめて、例えば図 4 の特性曲線の極値に達したことを判断し、各層の膜 4 の成膜停止判断を行っていた。

【 0 0 2 4 】

また、エネルギー反射率の変化に基づいて各層の成膜停止判断を行なうときにも、上記エネルギー透過率の変化に基づいて各層の成膜停止判断を行なうときと同様の判断により、各層の成膜停止判断を行っていた。

【 0 0 2 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のように、エネルギー透過率やエネルギー反射率の変化のみから直接光量変化の極値を求めて成膜停止判断を行なう方法では、この極値を判断できるのが必ず極値を越えた後であり、さらに、その判断にはある程度の時間を必要とするため、光学膜厚の誤差が大きくなってしまったといった問題があった。

【 0 0 2 6 】

すなわち、コンピュータ等を用いて極値を判断する場合、ノイズ等による微小な揺らぎを極値と誤判断することを防止するために、エネルギー透過率あるいはエネルギー反射率が極値からある程度反対側に変化して初めて極値と判定するようにするのが一般的であり、極値の判断は、極値を越えて少し時間が経った後となる。また、この判断の後に、成膜を停止させる信号を成膜装置に伝えて実際に成膜を停止するまでにもある程度の時間を必要とするので、光学膜厚の誤差が大きくなるのを防ぐことができなかった。

【 0 0 2 7 】

一方、エネルギー透過率あるいはエネルギー反射率の極値に達したことをフィッティングなどにより判断する方法を適用する場合、実際のエネルギー透過率あるいはエネルギー反射率の変化が二次曲線や正弦波曲線等の単純な式とほぼ一致することが重要となるが、そのように式と変化の状態がほぼ一致するのは、極値付近で微小範囲のデータを用いた場合のみである。

【 0 0 2 8 】

そして、実際のエネルギー透過率あるいはエネルギー反射率は滑らかな曲線を描くことが稀であり、極めて狭い範囲においてあたかも極値のように見える変化が起こることも少なくない。そのため、間違っただ点を極値と判断してしまうおそれがあり、その場合、大きな膜厚誤差を生じてしまう。

【0029】

本発明は、上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は、作製する膜の光学膜厚をより正確に制御することができる光学フィルタの成膜方法を提供することと、正確な光学膜厚を有する光学フィルタを提供することにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明の光学フィルタの製造方法は、基板上に膜を成膜しながら予め定めた基準時刻を基準とした成膜時間を時刻 t とし、前記基板上に成膜される膜にモニタ光を照射したときのエネルギー透過率とエネルギー反射率の少なくとも一方の光学特性を、該光学特性の理論式に基づいて理論定数 a_k (k は0以上の整数) を有する時刻 t の関数 $f(t)$ により表現し、膜の成膜中に随時、時刻 t において前記膜にモニタ光を照射して測定される前記光学特性の実測値と前記関数 $f(t)$ から求められる光学特性理論値との差が最小になるように理論定数 a_k を補正して適正定数 a_k' を求め、成膜される膜の光学膜厚が設定膜厚となる設定膜厚到達時刻を前記適正定数 a_k' に基づいて予測し、前記設定膜厚到達時刻に成膜を停止する構成をもって課題を解決する手段としている。

【0031】

また、第2の発明は、上記第1の発明の構成に加え、膜の成膜中に随時求められる適正定数 a_k' の変動量が予め定められた許容範囲内になってから設定膜厚到達時刻を予測し、その予測した設定膜厚到達時刻に成膜を停止する構成をもって課題を解決する手段としている。

【0032】

さらに、第3の発明は、上記第1又は第2の発明の構成に加え、前記関数 f (

t) は光学特性測定装置に起因する補正定数項を有する関数とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0033】

さらに、第4の発明の光学フィルタは、上記第1又は第2又は第3の発明の光学フィルタの製造方法を用いて製造された構成をもって課題を解決する手段としている。

【0034】

上記構成の本発明においては、予め定めた基準時刻を基準とした成膜時間を測定して時刻 t とする。また、モニタ光を照射したときのエネルギー透過率とエネルギー反射率の少なくとも一方の光学特性を時刻 t の関数 $f(t)$ により表現し、この関数 $f(t)$ が有する理論定数 a_k を、関数 $f(t)$ と光学特性実測値に基づいて補正して適正定数 a_k' を求め、該適正定数 a_k' に基づいて膜の光学膜厚が設定膜厚となる設定膜厚到達時刻を予測する。

【0035】

上記設定膜厚到達時刻の予測は、上記のように光学特性の理論式に基づいて得られる関数 $f(t)$ の適正定数 a_k' に基づいて行われるので、非常に正確に行なうことができ、本発明では、この設定膜厚到達時刻に成膜を停止するので、従来例のように、成膜停止が遅れたり、成膜停止のタイミングを誤ったりすることではなく、設定膜厚の膜を正確に成膜することができ、正確な光学膜厚の光学フィルタを製造することができる。

【0036】

また、本発明の光学フィルタは、上記本発明の光学フィルタの製造方法を用いて製造されているので、光学膜厚が予め設定した光学膜厚となるように正確に制御された設計通りの光学膜厚を有する光学フィルタとなる。

【0037】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。

【 0 0 3 8 】

本発明の光学フィルタの実施形態例は、図 1 に示すように、製品用基板 3 上に 9 6 層の膜（薄膜）4 を成膜してなるバンドパスフィルタ（B P F）であり、例えば図 2 に示したような真空蒸着装置を用いて製造されている。

【 0 0 3 9 】

上記 9 6 層の膜 4 の構成（設計）は、 Ta_2O_5 を中心波長（ここでは 1 5 5 0 n m）の 4 分の 1 の光学膜厚で成膜した H 層と、 SiO_2 を中心波長の 4 分の 1 の光学膜厚で成膜した L 層と、 SiO_2 を中心波長の 4 分の 6 の光学膜厚で成膜した 6 L 層を、基板 3 上に以下のように積層して形成するものとした。

【 0 0 4 0 】

すなわち、媒質 | L · (H L)⁷ · H · 6 L · H · (L H)⁷ · L · (H L)⁷ · H · 6 L · H · (L H)⁷ · L · (H L)⁷ · H · 6 L · H · (L H)⁷ | 基板とした。

【 0 0 4 1 】

ただし、(H L)⁷ は H 層と L 層を交互に 7 層ずつ（計 1 4 層）積層することを意味するものとし、(L H)⁷ は L 層と H 層を交互に 7 層ずつ（計 1 4 層）積層することを意味するものとする。

【 0 0 4 2 】

また、本実施形態例において、前記基板 3 は膜 4 を蒸着する面の裏面に反射防止加工が施されている。

【 0 0 4 3 】

本実施形態例の光学フィルタは、以下に示す特徴的な光学フィルタの製造方法を用いて製造されたものであり、以下、本実施形態例の光学フィルタの製造方法について説明する。なお、本実施形態例の光学フィルタの製造に関し、成膜時に基板 3 に照射する光（モニタ光）は前記中心波長と等しい波長の光を用いて行なった。

【 0 0 4 4 】

まず、本実施形態例の光学フィルタの製造に際し、基板 3 上に膜を成膜しながら予め定めた基準時刻を基準とした成膜時間を時刻 t とする。なお、本実施形態

例においては、成膜する各層の膜 4 の成膜開始時を前記基準時刻 ($t = 0$) とした。

【0045】

そして、基板 3 上に成膜される膜 4 にモニタ光を照射したときの光学特性として、エネルギー透過率 T を、該エネルギー透過率 T の理論式に基づいて理論定数 a_k (k は 0 以上の整数) を有する時刻 t の関数 $f(t)$ により表現することにした。

【0046】

以下、上記関数 $f(t)$ を求める手順について説明する。まず、図 1 に示すように、基板 3 の反対側から各層の膜 4 に番号を付す。ここで、第 j 層の膜 4 を成膜している場合に、既に成膜されている第 96 層の膜 4 から第 $(j + 1)$ 層の膜 4 の特性行列を M_b とすると、 M_b は、(数 5) のように 1 つにまとめて表わすことができる。

【0047】

【数 5】

$$M_b = \begin{pmatrix} b_{11} & ib_{12} \\ ib_{21} & b_{22} \end{pmatrix}$$

【0048】

なお、(数 5) における b_{11} 、 ib_{12} 、 ib_{21} 、 b_{22} は、第 96 層から第 $(j + 1)$ 層の各膜 4 の特性行列の積により求まる数であり、(数 2) ~ (数 4) を用いて求められる。

【0049】

また、成膜中の層 (ここでは j 層) の膜 4 の特性行列は (数 3) で表わされるので、これらを合わせた特性行列は (数 6) のように表わすことができる。

【0050】

【数 6】

$$\begin{aligned} \mathbf{M} &= \mathbf{M}_j \mathbf{M}_b = \begin{pmatrix} \cos \delta_j & in_j^{-1} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & ib_{12} \\ ib_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} b_{11} \cos \delta_j - n_j^{-1} b_{21} \sin \delta_j & ib_{12} \cos \delta_j + in_j^{-1} b_{22} \sin \delta_j \\ in_j b_{11} \sin \delta_j + ib_{21} \cos \delta_j & -n_j b_{12} \sin \delta_j + b_{22} \cos \delta_j \end{pmatrix} \end{aligned}$$

【0 0 5 1】

また、前記の如く、多層膜のエネルギー透過率は、特性行列の各要素を用いて（数 1）に示した理論式により表わされるので、第 j 層の膜 4 を成膜している場合のエネルギー透過率 T は、（数 7）で表わすことができる。

【0 0 5 2】

【数 7】

$$T = \frac{4n_0 n_j^2 n_s}{A \cos^2 \delta_j + 2B \sin \delta_j \cos \delta_j + C \sin^2 \delta_j}$$

【0 0 5 3】

ただし、（数 7）において、 A 、 B 、 C はそれぞれ、（数 8）～（数 10）で表わされるように、定数を置き換えたものである。

【0 0 5 4】

【数 8】

$$\begin{aligned} A &= n_0^2 n_j^2 b_{11}^2 + 2n_0 n_j^2 n_s b_{11} b_{22} + n_j^2 n_s^2 b_{22}^2 \\ &\quad + n_0^2 n_j^2 n_s^2 b_{12}^2 + 2n_0 n_j^2 n_s b_{12} b_{21} + n_j^2 b_{21}^2 \end{aligned}$$

【0 0 5 5】

【数 9】

$$\begin{aligned}
 B = & -n_0^2 n_j b_{11} b_{21} - n_0 n_j^3 n_s b_{11} b_{12} \\
 & - n_0 n_j n_s b_{21} b_{22} - n_j^3 n_s^2 b_{12} b_{22} \\
 & + n_0^2 n_j n_s^2 b_{12} b_{22} + n_0 n_j^3 n_s b_{11} b_{12} \\
 & + n_0 n_j n_s b_{21} b_{22} + n_j^3 b_{11} b_{21}
 \end{aligned}$$

【0 0 5 6】

【数 1 0】

$$\begin{aligned}
 C = & n_0^2 b_{21}^2 + 2n_0 n_j^2 n_s b_{21} b_{12} + n_j^4 n_s^2 b_{12}^2 \\
 & + n_0^2 n_s^2 b_{22}^2 + 2n_0 n_j^2 n_s b_{11} b_{22} + n_j^4 b_{11}^2
 \end{aligned}$$

【0 0 5 7】

さらに、(数 7) は (数 1 2) および (数 1 3) を満たす定数 β を用いて、(数 1 1) のように表わすことができる。

【0 0 5 8】

【数 1 1】

$$T = \frac{8n_0 n_j^2 n_s}{(A + C) + \sqrt{(A - C)^2 + 4B^2 \cos(2\delta_j + \beta)}}$$

【0 0 5 9】

【数 1 2】

$$\sin \beta = \frac{-2B}{\sqrt{(A - C)^2 + 4B^2}}$$

【0 0 6 0】

【数 1 3】

$$\cos \beta = \frac{A - C}{\sqrt{(A - C)^2 + 4B^2}}$$

【0 0 6 1】

また、ある一つの層の膜 4 を成膜している間は、(数 4) の n_j および λ は常に一定と考えることができるため、(数 4) の位相膜厚 δ_j は物理膜厚 d_j に比例すると考えることができる。さらに、薄膜の成膜では、一つの層における成膜中の成膜レート（単位時間当たりの物理膜厚の増加量）がほぼ一定になるようにコントロールするのが一般的であるため、物理膜厚 d_j は成膜時間に比例することになる。

【0 0 6 2】

以上のことから、(数 1 1) は、(数 1 4) のように、1 つ以上の理論定数 a_k を有する時刻 t とエネルギー透過率 T との関係式として表わすことができる。なお、(数 1 4) において、理論定数 a_k は 4 つであり、 k は 0 以上の整数（0, 1, 2, 3）である。

【0 0 6 3】

【数 1 4】

$$T = \frac{1}{a_0 + a_1 \cos(a_2 t + a_3)}$$

【0 0 6 4】

また、本実施形態例では、例えば受光器 1 2 の暗電流等に起因する検出信号のオフセットを考慮して、(数 1 4) の右辺に、光学特性測定装置としての受光器 1 2 に起因する補正定数 a_4 の項を加えた式 (数 1 5) を、前記理論定数 a_k ($k = 0, 1, 2, 3$) を有する時刻 t の関数 $f(t)$ とした。

【0 0 6 5】

【数 1 5】

$$f(t) = T = \frac{1}{a_0 + a_1 \cos(a_2 t + a_3)} + a_4$$

【0 0 6 6】

なお、補正定数 a_4 は、例えば実際の成膜を行なう以前に受光器 1 2 を用いて前記光学特性の測定を行ないながら様々な膜の成膜を行ない、予め求められるものである。

【0 0 6 7】

本実施形態例では、以上のようにして関数 $f(t)$ を決定し、前記基準時刻から現在時刻までの間の有限時間範囲内の各時刻 t における膜 4 にモニタ光を照射して測定されるエネルギー透過率の実測値と、前記関数 $f(t)$ から求められる光学特性理論値（エネルギー透過率理論値）との差が最小になるように、非線形フィッティングにより理論定数 a_k を補正して適正定数 a_k' を求めた。

【0 0 6 8】

そして、成膜される j 層の膜 4 の光学膜厚が設定膜厚となる設定膜厚到達時刻を前記適正定数 a_k' ($k = 0, 1, 2, 3$) に基づいて予測し、前記設定膜厚到達時刻に成膜を停止することにした。

【0 0 6 9】

なお、設定膜厚到達時刻の予測は以下のようにして行なう。すなわち、目的とする光学膜厚 $n_j d_j$ から目的とする位相膜厚 $(2\delta_j + \beta)$ の値を予め求めておく。そして、ある時刻において、それまでの各時刻 t におけるエネルギー透過率 T の実測値と透過率関数 $f(t)$ の誤差が最小になるような適正定数 a_k' ($k = 0, 1, 2, 3$) を求め、この適正定数を用いて、最適な $(a_2 t + a_3)$ と $(2\delta_j + \beta)$ の値が等しくなる時刻を設定膜厚到達時刻 t_e としている。

【0 0 7 0】

すなわち、 $t_e = \{(2\delta_j + \beta) - a_3'\} / a_2'$ となるため、この式から膜厚到達時刻 t_e の予測を行なう。

【0 0 7 1】

なお、本実施形態例の光学フィルタの製造に関し、前記の如く、成膜時に基板 3 に照射する光（モニタ光）は前記中心波長と等しい波長の光を用いて行なっているため、各層の膜 4 の成膜は、エネルギー透過率変化曲線（光学膜厚とエネルギー透過率の関係式）の極値で停止すればよいことになる。そして、エネルギー透過率変化曲線が極値に近づくと、前記適正定数 a_k' が殆ど変動しなくなることが分かった。

【 0 0 7 2 】

そこで、本実施形態例では、j 層の膜 4 の成膜中に随時求められる上記適正定数 a_k' の変動量が予め定められた許容範囲内になってから（例えば適正定数 a_k' が殆ど変動しない一定の値となってから）予め定めた設定時間（例えば 2 ～ 3 秒）が経過してから設定膜厚到達時刻 t_e を予測し、その予測した設定膜厚到達時刻 t_e に成膜を停止する構成とした。

【 0 0 7 3 】

そして、図 2 のコンピュータ 1 4 が、停止信号を成膜装置の駆動部に送ってから駆動部による成膜停止が行われるまでの遅れ時間分だけ早いタイミングで、停止信号を送信するようにし、前記設定膜厚到達時刻に正確に成膜停止が行われるようにした。

【 0 0 7 4 】

本実施形態例の光学フィルタは、上記光学フィルタの製造方法を用いて製造されたものであり、本実施形態例の光学フィルタは、挿入損失が 0. 2 6 d B のバンドパスフィルタとなった。

【 0 0 7 5 】

本実施形態例の光学フィルタは、上記のように、各膜 4 の成膜を前記設定膜厚到達時刻に停止して製造したものであり、設定膜厚到達時刻の予測は、上記のように光学特性の理論式に基づいて得られる関数 $f(t)$ の適正定数 a_k' に基づいて行われるので、正確に予測した設定膜厚到達時刻に成膜を停止することにより、設計通りの光学膜厚を有する光学フィルタとすることができる。

【 0 0 7 6 】

特に、本実施形態例においては、コンピュータ 1 4 が、停止信号を成膜装置の

駆動部に送ってから駆動部による成膜停止が行われるまでの遅れ時間分だけ早いタイミングで、停止信号を送信するようにすることで、停止信号を送信してから成膜停止までの間の信号処理に伴う遅れもなく、前記のように設計通りの光学膜厚を有する光学フィルタとすることができる。

【 0 0 7 7 】

さらに、本実施形態例では、例えば受光器 1 2 の暗電流等に起因する検出信号のオフセットを考慮して、(数 1 4) の右辺に定数 a_4 を加えた式 (数 1 5) を関数 $f(t)$ として各層において最終的に成膜を停止する時刻を求めたために、上記オフセットの影響を受けることもなく、より一層正確に各膜 4 の光学膜厚が制御された光学フィルタとすることができる。

【 0 0 7 8 】

なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を採り得る。例えば上記実施形態例では、前記基準時刻から予測停止時刻までの間の有限の時間範囲におけるエネルギー透過率の時系列データを求め、前記設定膜厚到達時刻を前記適正定数 a_k' ($k = 0, 1, 2, 3$) に基づいて予測し、前記設定膜厚到達時刻に成膜を停止することにしたが、前記時系列データの時間範囲は特に限定されるものではなく適宜設定されるものである。

【 0 0 7 9 】

例えば、前記時系列データは、成膜レートが不安定な成膜開始時刻 (基準時刻) 直後のデータを除いた有限時間範囲について求めてもよい。

【 0 0 8 0 】

また、上記実施形態例では、光学特性としてのエネルギー透過率を関数 $f(t)$ により表現し、この関数 $f(t)$ の理論定数 a_k を補正し、適正定数 a_k' を求めたが、光学特性としてのエネルギー反射率を関数 $f(t)$ により表現し、同様に、その適正定数 a_k' を求めるようにしてもよい。なお、エネルギー反射率 R は、エネルギー透過率を T としたときに、 $R = 1 - T$ で表わされるため、エネルギー透過率 T の理論式からエネルギー透過率の関数 $f(t)$ を求めた手法を応用して、エネルギー反射率の関数 $f(t)$ を求めることができる。

【 0 0 8 1 】

さらに、上記実施形態例は、エネルギー透過率の極値で各膜 4 の成膜を停止する構成としたが、各膜 4 の成膜停止基準は特に限定されるものではなく、設計光学膜厚とエネルギー透過率やエネルギー反射率との関係に基づいて適宜設定されるものである。そして、この関係に基づき、関数 $f(t)$ の適正定数 a_k' に基づいて予測する設定膜厚到達時刻の予測手法も適宜設定されるものである。

【0082】

【発明の効果】

本発明の光学フィルタの製造方法によれば、基板上の膜の光学特性の理論式に基づいて得られる関数 $f(t)$ の適正定数 a_k' に基づいて、成膜される膜の光学膜厚が設定膜厚となる設定膜厚到達時刻を予測し、この時刻に成膜を停止するので、成膜停止が遅れたり、成膜停止のタイミングを誤ったりすることはなく、設定膜厚の膜を正確に成膜することができ、正確な光学膜厚の光学フィルタを製造することができる。

【0083】

また、あらゆる光学膜厚の膜の成膜において、適正係数 a_k' の変動量が許容範囲内になってから設定膜厚到達時刻を予測し、その予測した設定膜厚到達時刻で成膜を停止するとよく、このようにすることで、光学膜厚を有する膜を正確に成膜することができる。

【0084】

さらに、本発明の光学フィルタの製造方法において、関数 $f(t)$ は光学特性測定装置に起因する補正定数項を有する関数とした構成によれば、光学特性測定装置のオフセット等による誤差の影響を受けることなく、より一層正確に設定膜厚の膜を成膜することができる。

【0085】

さらに、本発明の光学フィルタによれば、上記のような光学フィルタの製造方法を用いて製造されているので、基板上に成膜される膜の光学膜厚がほぼ設計通りに正確に形成された、非常に高品質の光学フィルタとすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る光学フィルタの一実施形態例を屈折率 n_0 の媒質中に配置した状態を模式的に示す断面説明図である。

【図 2】

光学フィルタの製造装置の一例を模式的に示す構成図である。

【図 3】

屈折率 n_0 の媒質中で、屈折率 n_s の基板上に光学膜厚 $n_j d_j$ の膜を L 層成膜した状態を示す断面説明図である。

【図 4】

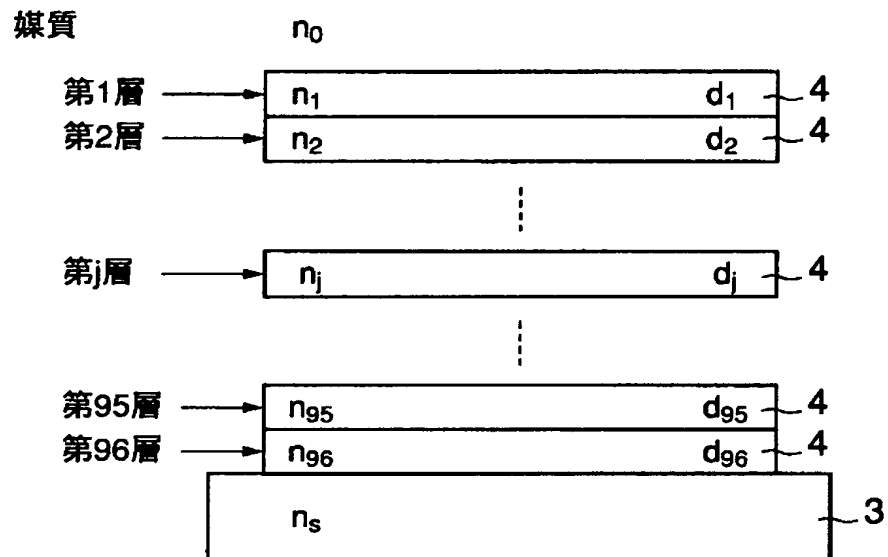
基板上に 3 層の膜を成膜していく際の光学膜厚とエネルギー透過率との関係例を示すグラフである。

【符号の説明】

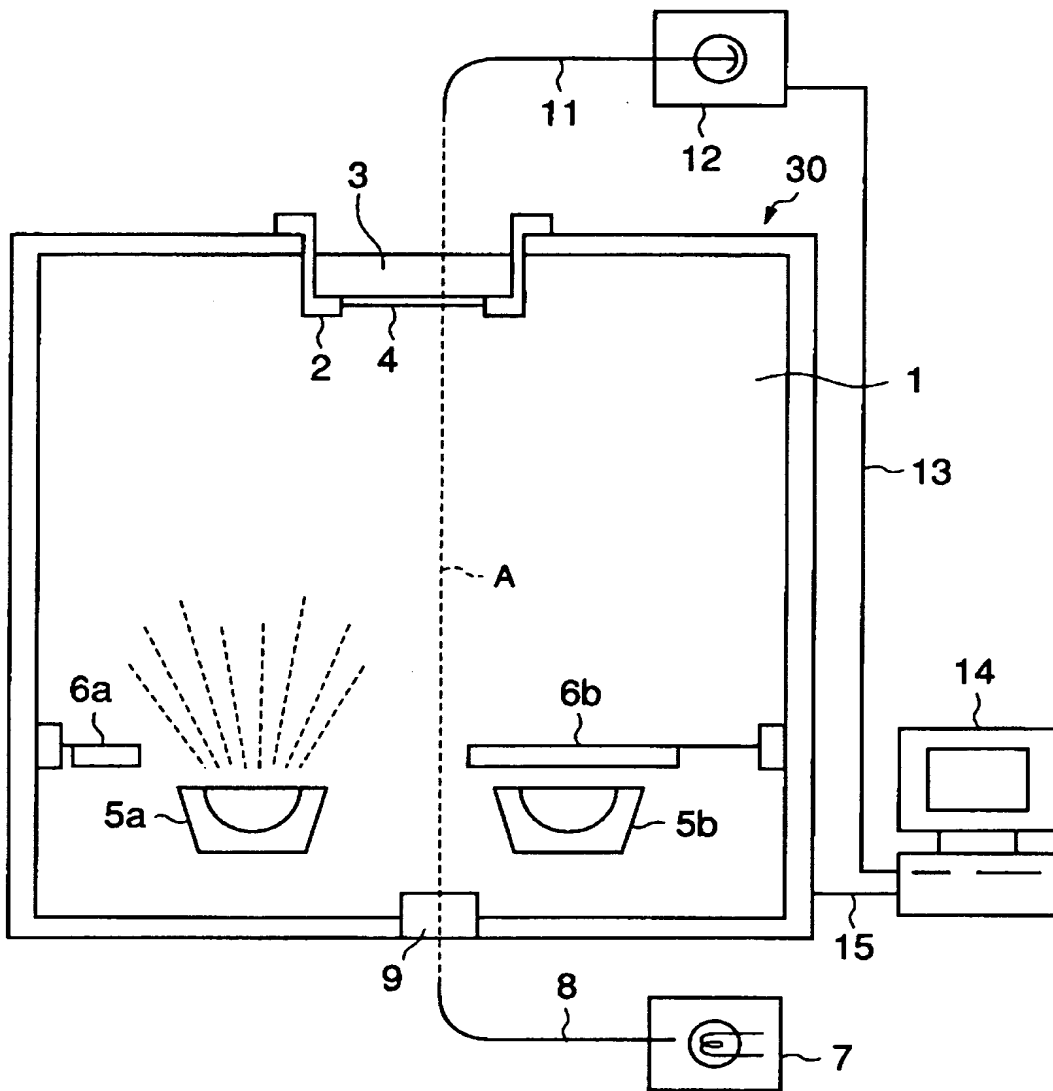
- 1 成膜エリア
- 2 基板ホルダ
- 3 基板
- 4 薄膜
- 5 a, 5 b 蒸発源
- 6 a, 6 b 蒸発源シャッタ
- 7 光源
- 1 2 受光器
- 1 4 コンピュータ

【書類名】 図面

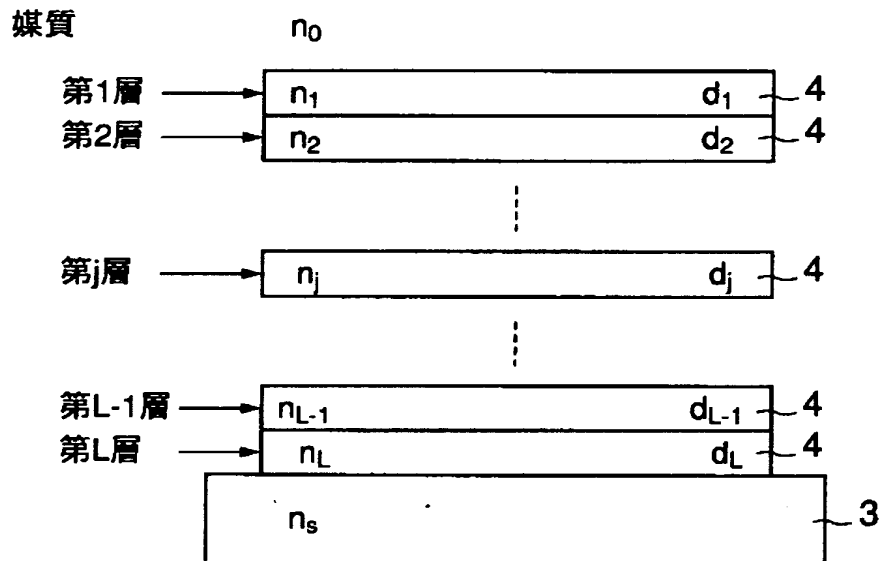
【図 1】



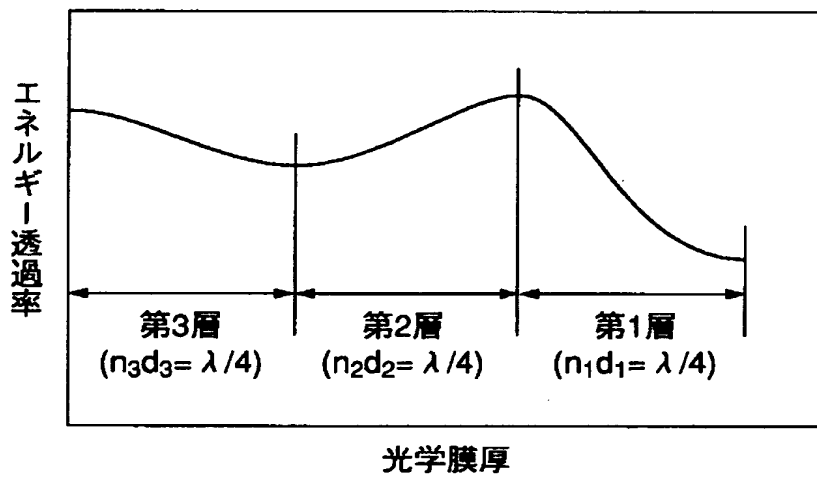
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 基板上に成膜される膜の光学膜厚を正確に制御し、正確な光学膜厚の光フィルタを製造する。

【解決手段】 基板 3 上に膜 4 を成膜しながら予め定めた基準時刻を基準とした成膜時間を時刻 t とし、基板 3 上に成膜される膜にモニタ光を照射したときのエネルギー透過率とエネルギー反射率の少なくとも一方の光学特性を、該光学特性の理論式に基づいて理論定数 a_k (k は 0 以上の整数) を有する時刻 t の関数 $f(t)$ により表現する。膜 4 の成膜中に随時、時刻 t において膜 4 にモニタ光を照射して測定される前記光学特性の実測値と前記関数 $f(t)$ から求められる光学特性理論値との差が最小になるように理論定数 a_k を補正して適正定数 a_k' を求め、成膜される膜 4 の光学膜厚が設定膜厚となる設定膜厚到達時刻を適正定数 a_k' に基づいて予測し、前記設定膜厚到達時刻に成膜を停止して光学フィルタとする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 2 9 0]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号
氏 名	古河電気工業株式会社